

应用微机进行水稻生育期和产量 结构动态预报的研究

刘乃壮 王生明 卞国平 叶大华*

提 要

根据常州市多点、多年气候资料和作物生长的观测记录,在考虑作物生态原理、水稻栽培经验和统计分析的基础上,得出了晚稻“武复粳”品种的生长发育模式与苗情诊断意见。又用 BASIC 语言编译为一套汉字显示的微机程序专家系统,能预报大田的各生育期与产量结构因子发展动态,对能否实现某产量目标及时地给出评价,提出定量的栽培措施建议。适用于我国县乡级业务部门指导大面积的生产活动。

国内外对微机在农业上应用的研究进展甚速,但是能够随着作物生长发育的演变和环境条件的变化而进行苗情诊断与产量预报的软件系统,仍然不多,而这一研究恰是农业经营从经验指导走向规范化管理的必要途径之一。近年来我国在应用微机于作物栽培的研究上有两种趋势,一种是庄郁华等着重于以微机为计算工具,从二次正交旋转回归组合的田间设计试验中寻求栽培综合农艺措施的数学模型,能在作物种植前给出最优栽培方案^[1,2]。另一种趋势是以高亮之为代表的寻求作物生产的农业气候模拟模式(ALFAMOD),着重于建立能处理气候、土壤、灌溉、施肥等生态因子与作物生长、产量关系的计算机程序^[3]。但该法需以精确的参数和作物生长理论模式为基础,在我国目前的水平下短期内难于实用。从另一方面看,尽管人们对水稻的大田诊断已积累了丰富的经验,通过叶龄模式诊断^[4]或作物栽培技术图解(又称“栽培模式”)等,仍难以对群体的发展与产量趋势给出定量的预报。本文在考虑水稻生理特点与多种生态因子作用的基础上,设计了能预报产量结构因子动态、给出栽培评价和提出进一步农田管理建议的微机专家系统(W-87系统)的模式思路与程序特点。该系统能在水稻的生长过程中通过人-机对话提供栽培咨询,输入的数据信息较易取得,便于使用。

1987年8月21日收到,1988年1月30日收到修改稿

* 现在常州市钟山科技咨询公司工作。农气系1986届学生刘晚红、薛桂苹等参加了部分工作

一、资料来源及研究方法

水稻生长发育的系统资料取自武进县10个基本苗情点1983—1987年对单季晚稻“武复粳”品种的田间观测记录,按统一的观测规范进行,包括物候期、叶龄动态、茎蘖动态、干物质积累动态、LAI动态和产量结构分析等内容。该县属于平原水网的老稻区,土性相近、灌排便利、栽培技术水平普遍较高,故对各点的土壤差异与水浆管理可以略去不计。气象资料取自武进县气象站1951—1987年的记录。

整个工作按3个步骤进行。首先对“武复粳”前3年66个样本的原始资料进行了整理与分类,在生物学原理的基础上进行统计分析,求得生育速度、产量结构因子与生态条件关系的多组回归方程,择最优者建立模式,对结果进行了回代检验与实报检验。而后系统地对与预报有关的气象要素的历年状况和各田块的施肥情况进行了比较,得到了与产量关系的参数,做为田间诊断与建议的客观依据。第二个步骤是将上述模式与参数综合纳入一个体系,通过 BASIC 语言的编译和汉字化处理,得到了预期的软件产品。第三个步骤是该产品的生产实用检验,于1987年在两个乡内进行。

二、模式的确定

(一)生育期预报模式

同一品种植株的生育速度主要决定于气象环境。“武复粳”属于感光、感温类型品种,但因我们只限于研究它在常州地区的生产应用,所在地理范围和播栽期范围均甚相近。又经过了对积温、日长、秧龄诸因子多种组合拟合方程的效果分析,显然,含有播

表1 生育期预报不同拟合方程的方差分析

拟合方程类型	R	u	θ	SF
(1) 活动积温式	0.9989	16 447.1	37.177	2.7268
(2) 有效积温式	0.9963	16 373.5	121.213	4.9280
(3) 活动积温、日长、秧龄式	0.9989	16 459.5	35.401	4.2072
(4) 界限积温、日长、秧龄式组	0.92—0.95	43.6—65.1	0.58—28.06	0.54—3.75

注: $F_{\alpha=0.1}$ 为 4.06

期差(它能间接地反映日长因子差异)、秧龄差(它能反映秧苗素质的影响)与温度3因子的方程(3)并未能比只含有活动积温因子的方程(1)的效果好(见表1)。而尽管界限积温组式(4)的生育期预报效果好,该式的不同生育时段逐日日温差累积因子在实报中却颇难精确估量,所以确定以活动积温法为生育期预报的基本手段,其拟合方程为

$$\hat{y} = 4.21822 + 0.0335865x + 1.5503 \times 10^{-6}x^2$$

$\hat{y}$ 为从播种期至任一生育期的天数; x 为相应时段以 10°C 为下限的活动积温。据统计, 在当地正常的播种期范围(5月21日前后各3—4天以内)条件下, 武复梗的大田各生育期的活动积温近似常数, 对这些准常数再做播种期影响的实况订正, 可得到两组较精确而简便的、能直接用作预报工具的生育期积温指标(表2)。上述模式与积温指标给出的

表2 生育期活动积温指标($^\circ\text{C}$)

积温时段	播 种 期	
	5月21日以前	5月22日以后
播种—拔节	1 775	1 775
移栽—始蘖	228	228
拔节—孕穗	783	743
孕穗—始穗	149	171
始穗—齐穗	98	102
齐穗—成熟	1 042	964

只是从播种期始算的至某生育期出现所需的天数, 欲使微机能直接显示为实报当年的日期, 还需要再次的换算处理。在此, 我们先求从5月1日起历年平均的逐日气温的积温作为系统定日期的基准, 由此可算出随着积温增加而在当地相对应的一系列的基准日期; 再对预估的实报年某生育时段的气温趋势与相应时段的历年平均状况进行比较, 以其偏离程度对由基准日期系列推算的某生育期月日进行修正, 获得预报的结论。据对上述“基准加订正”的生育期预报法验算, 70—80%的样本预报误差不超过2天, 预报效果良好(表3)。由于已将

常年的逐日气温及其累加值、各生育期积温指标等贮入微机数据库, 使用时只需将当年某田块已知的播种至移栽的活动积温输入微机, 微机即能给出欲测生育期的基准日期。订正则由人为估计完成, 若当年气候偏暖, 预报的生育期日应比基准生育期日稍早, 气候偏凉则稍可推迟。

表3 生育期预报验算结果的误差分布(%) (预报期自移栽期始算)

预报基准日期的偏差		生 育 期				
		始蘖期	孕穗期	始穗期	齐穗期	成熟期
回 代 检 验 (N=55)	0天	23	22	15	7	24
	±1天	33	25	19	34	24
	±2天	25	29	23	27	17
	±3天	19	15	30	25	15
	±(>3天)	0	9	13	7	20
平均误差		1.62天	1.65天	2.08天	1.93天	1.98天

对于每穗可以形成的颖花数,在考虑幼穗分化前的植株生长素质,幼穗分化时期的群体反馈强度、光合能力、单株的营养物质在营养器官与生殖器官之间的分配,以及幼穗分化速度与分化持续期长度等生理关系的基础上,由观测资料中可找出20项有代表性的因子,从中筛选8个参加逐步回归,获得预报每穗颖花数 $\hat{y}_t$ 的子模式($\alpha=0.05$)

$$\hat{y}_t = 8.82579 + 0.2509x_5 + 0.8675x_6$$

式中 x_5 为齐穗前25天的实际日照累积时数, x_6 为第15片叶(直接关系到穗形成大小的功能叶)长度。

影响结实率的内在、外在条件包括幼穗分化时期植株的长势长相、花粉减数分裂期和齐穗扬花时期的环境条件,以及籽粒形成前期的基础与环境。前者主要影响空壳率,后者影响秕谷率。找出15个代表性影响因子后,筛选出11个参加逐步回归,得到结实率 $\hat{y}_r$ 的预报子模式($\alpha=0.05$)

$$\hat{y}_r = 92.741 - 0.0924337x_7 + 0.667433x_8 - 0.43026x_9$$

式中 x_7 为齐穗前第15天至第6天共10天时段的22℃至28℃间界限积温; x_8 为剑叶全出期的叶面积指数; x_9 为齐穗期及前后各2天共5天的实际日照累积量平均值。该式以95% $>\hat{y}_r>80\%$ 时效果好。

稻谷的粒重取决于籽粒库容(长成的颖壳大小)和同化产物的输入(生长后期光合物质的制造能力、向籽粒的转移能力以及有效灌浆期持续长度)。分析20个代表性因子后,筛选出11个参加逐步回归,得到预报千粒重 $\hat{y}_w$ 的子模式($\alpha=0.10$)

$$\hat{y}_w = 27.83 - 0.00805Z_1 - 0.003885Z_2 + 0.33352Z_3$$

式中 Z_1 为8月份的实际日照累积量; Z_2 为齐穗至成熟期间日平均气温 $\geq 22^\circ\text{C}$ 的活动积温; Z_3 为齐穗后第20天的叶面积指数。

通过上述4个子模式汇集算出的仅是亩产量的理论值 y_t ,它与实收的亩产量 y_a 之间常仍有偏差,其相关方程为

$$y_a = 304.5507 + 0.6879y_t \quad (\alpha=0.001)$$

故若经过上式订正,产量预报的平均误差可由8.7%降至7.9%,如果在严格的观测水平与正常栽培条件下,误差还可再缩小。例如对1986年的实报检验,平均误差率降到3.5%($N=10$);1987年在两个乡农技站的实用,预报产量平均误差为4.8%($N=6$)。

(三)田间诊断评价

随着水稻的生长而预测其各产量结构因子形成动态的主要目的,不仅是要预知可能产量的多少,更主要的考虑是想知道为了争取丰产人们还能做些什么努力,即要通过对植株的生长实况与预先设计的为实现某产量指标所需最佳产量结构方案的比较,及时地发现差距,指导采取补救措施。我们的W-87微机专家系统的一大特色,正在于能给出田间诊断和下一步的田间管理意见。图2列出了产量形成动态预报、田间诊断评价与可

行性栽培措施之间的关系。对前面所做出的亩穗数、每穗总粒数和结实率是否能满足不同产量指标设计的要求, 田间诊断部分分别进行了度量, 如果正好满足要求则评价为

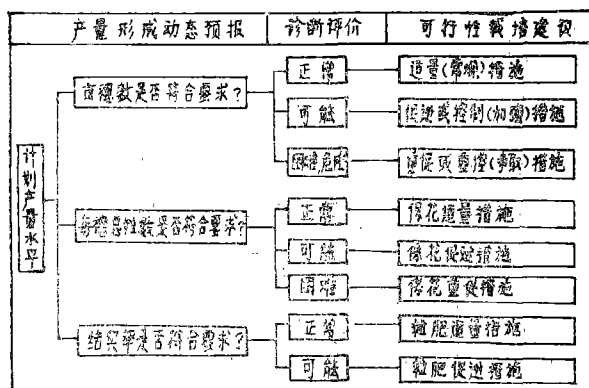


图2 产量形成动态预报与田间诊断评价、可行性栽培措施关系框图

“正常”, 稍差时评价为“轻促”、“促”或“控”(均指下一步田间措施需加强生长或控制生长的原则), 当预报值和需求值相差太大时, 系统评为“难”(困难)或“危险”、“重控”。对每项产量结构因子的诊断评价标准源于对样本资料的客观分析, 包括2个(结实率)至5个(亩穗数)量级。

可行性栽培措施的依据也源于对样本资料的分析。例如, 由统计得知, 当地每亩实产 y_a 与亩施氮总量 F (折合为纯氮素, 公斤数)呈线性关系

$$y_a = 946.61 + 2.68F \quad (N=67, \alpha=0.10)$$

但进一步比较又得知产量与基肥量的关系不象与总氮量的关系那样密切, 说明应以适时适量的追肥(特别是氮肥)做为实现产量的有效措施。因此, 我们在程序中确定以氮素追肥为主、兼顾磷肥与水浆管理的栽培意见, 尤其重视促蘖肥与促花肥, 给出了不同诊断评价下的具体施肥量。整套的田间诊断评价和措施建议系统适用于当地每亩400—650公斤的产量水平下。

三、微机程序编制

武复粳水稻产量和生育期预报微机系统(简称W-87系统)程序具有如下特点:

- (1)采用模块法, 共分为7个模块, 有的模块内又再分为若干子模块。从图3可见, 系统结构清晰、层次分明, 图内的箭头指向表示可以运行的流向。
- (2)程序运行时采用人-机对话形式, 于键盘上输入所需的功能指令和必要信息, 微机即可给出解答。
- (3)对各种预报结果和诊断意见均以汉字的形式在荧光屏幕上显示和在打印机上打印出来。

程序系统采用BASIC语言编译, 共含304条语句, 由以下部分(程序功能)构成

- 1——有效穗数的预报和采取措施
- 2——每穗总粒数的预报和采取措施
- 3——结实率的预报和采取措施
- 4——千粒重的预报和采取措施

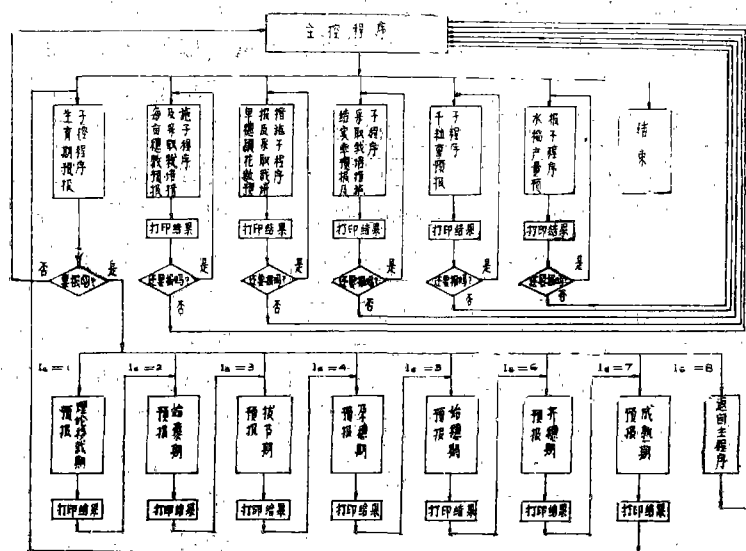


图3 “武复梗”水稻生育期和产量预报程序系统框图。

- 5 —— 水稻产量预报
6 —— 水稻各生育期的预报
7 —— 结束

随着使用者欲输入的功能号 $M_1 = ?$ (M_1 为上述7个功能之一), 通过多路选择转移语句, 微机将根据 M_1 值确定流向, 转入有关模块的运算; 例如, 令 $M_1 = 1$, 则该流向转入第1功能模块, 进行亩有效穗数预报, 并提出此后应采取的栽培措施。该模块包含37个语句, 输入A字符串(A\$), 可以通过两种形式给予: 若给它Y, 表示肯定(Yes), 流向执行本模块功能; 若给它N, 表示否定(Not), 运行流向返回主控程序。当执行本模块功能时, 分别输入 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 (各x值定义见前述), 微机将迅速给出有效穗数预报值(A值)。为了判断A值能否满足原计划产量(Y_1)的要求, 确定下一步采用什么田间措施, 运行自动流向田间诊断, 给出评价和建议。再如, 产量预报模块包含35个语句, 运行时也有两种功能, 当功能号 $E = 1$ 时, 它用已知的亩穗数、每穗总粒数和结实率预报产量; 若令 $E = 2$, 则用模式计算出的穗数、每穗总粒数和结实率预报产量。

当令 $M_1 = 6$ 时, 程序流向转入生育期预报功能。生育期预报可以单独使用, 做为农业气象灾害预报和病虫害预报的依据。在本系统中它是产量结构因子预报的必要前提, 因为产量结构诸子模式涉及的气象参数均指特定时段而言, 而该时段是随着生育期出现的早迟而滑动和改变的。产量预报时总是要在先完成 $M_1 = 6$ 功能的基础上, 再将程序流向转入产量预报的有关子模块。生育期预报模块运行时显示有8个子模块功能:

- | | |
|------------|-------------|
| 1 —— 理论移栽期 | 2 —— 预报始蘖期 |
| 3 —— 预报拔节期 | 4 —— 预报孕穗期 |
| 5 —— 预报始穗期 | 6 —— 预报齐穗期 |
| 7 —— 预报成熟期 | 8 —— 返回主控程序 |

I_6 是使用者为了要求预报某生育期而输入的子模块功能号(1—8的某值,根据田间植株生育进展实况而定),然后通过多路选择转移语句确定程序流向。该模块具有自动转入下一子模块的功能,除给出欲求的某生育期日期外,同时将以后一系列生育期的日期依次给出,直到成熟的可能日期。程序中的M为预报当天距数据库内贮始算日(5月1日)的天数。当预报某生育期时先输入已知的从播种日起到预报日止的实际积温(A),程序将使该生育期在表1中的积温指标与A值相减,并将此积温差额与常年平均的逐日积温滑动值(已做为资料贮入数据库)进行比较,推算出相当于正常气候条件下的该生育期日期。随后又给出如下两个具体日期:如果实报当年的气温比常年明显偏暖,该生育期日期将会自动往前推3天;如若当年气温比常年明显偏凉,它将往后推3天。最终预报日期即可据当年气候的正常或异常而人为地从以上3个给出的日期中选定。

四、讨 论

应该指出,本程序系统不是完美无缺的,客观原因主要有以下几方面:

(1)所有模式的求得是采用回归统计方法,这就使它们不可避免地会受到统计资料局限性的束缚,致使该模式的经验性较强。尽管我们曾努力对统计的因子进行严格筛选,以使它们符合生物学的原理,结果仍未尽如人意。

(2)尽管对田间记录经过了实地的抽样审核,认为可靠,但是受苗情点农民观测员各方面条件的局限,个别记录误差仍难避免。资料的本底误差对统计结果会带来一定干

扰。又因武进县栽培推广站原来统一布置的观测项目中,某些因子的动态不够精确,也给建立模式带来一些限制。

(3)所有样本均取自能反映当地生产情况的大田,而没有精心设计的田间试验资料提供参考,致使各项数值的波动范围受到限制。如表4所示,拟合模式只能在相应的范围内精度才能较高,而且预报的效果与一定的地区条件(土壤、气候)、产量水平和栽培技术水平有关,目前尚不能任意外延。

(4)本软件为装配益生汉字的

表4 统计资料范围

项 目	极 限 范 围	
	最大值	最小值
移 栽 期	6月19日	6月29日
基本苗数(万/亩)	19.1	9.1
亩 穗 数 (万)	32.0	19.4
每 穗 总 粒 数	113.0	60.6
千 粒 重 (克)	27.9	22.6
亩 产 量 (公斤)	643	414
栽后30天内雨日数	20	10
齐穗前25天日照量 (小时)	213	146

APLLE-II型或其相近型号微机的专用程序系统。

尽管如此,我们认为以上建立模式的思路和给出田间诊断意见的逻辑性与客观性是显而易见的,它也比较符合栽培过程中所遇问题的自然顺序,因而简易实用。克服模式使用局限性的途径之一是,当品种不同时可对模式中的某些参数或个别因子予以经验订正,于是这类模式的使用范围就可扩大了。

参 考 文 献

- [1] 庄郁华、敬展生, 杂交水稻综合农艺措施数学模型的研讨, 农业现代化参考资料选编, 第8集, 121—138, 农科院情报所, 1982。
- [2] 陈留根, 水稻综合农艺措施数学模型的研讨, 江苏农业科学, 1986, 11, 1—3。
- [3] 高亮之、Hannaway, D.B., 苜蓿生产的农业气候计算机模拟模式——ALFAMOD, 江苏农业学报, 1985, 2, 1—11。
- [4] 凌启鸿等, 水稻品种不同生育类型的叶龄模式, 中国农业科学, 1983, 1, 9—18。

RESEARCH ON THE DYNAMIC PREDICTION OF RICE PHENOLOGICAL PHASES AND YIELD COMPONENTS USING THE MICROCOMPUTER

Liu Naizhuang Wang Shengming Bian Guoping Ye Dahua

ABSTRACT

A model for the growth of the late rice variety "Wufugen" together with diagnostic suggestions is presented using the statistical method based on secular climatic data and crop growth observations at Changzhou and taking into account the rice ecological principle and cultivation experiences. A microcomputer expert system displayed in Chinese characters is used to predict the dynamic conditions of the phenological phases and yield components of rice. The result of this research is suitable to the present scientific and technical levels of China's basic departments responsible for agricultural production and can be used to direct productive activities in large areas.